松嫩草原中度退化草地不同植被恢复方式下土壤跳虫群落特征比较

吴东辉[1,2,*], 尹文英[2], 殷秀琴[3]

(1. 吉林大学地球科学学院,长春 130061; 2. 中国科学院上海生命科学研究院植物生理生态研究所,上海 200032;
3. 东北师范大学城市与环境科学学院,长春 130024)

摘要:依据 2005 年 5 – 10 月在松嫩草原中度退化草地不同植被恢复处理条件下采集的土壤跳虫群落数据,应用类群数、个体密度和多样性指数等多个群落参数,研究了不同植被恢复方式下松嫩草原中度退化草地土壤跳虫群落特征的差异。本研究共捕获跳虫 1 156 只,隶属于 9 科 19 属。结果显示:与过度放牧相比,围栏封育和种植苜蓿都能改善土壤理化性质,且拥有较高的跳虫类群数、个体密度和群落多样性。围栏封育和种植苜蓿都能达到恢复与重建中度退化草地土壤跳虫群落的目的,只是与围栏封育相比,种植苜蓿能够更显著地提高跳虫个体密度。此外,与过度放牧相比,围栏封育和种植苜蓿主要提高了跳虫群落等节跳虫科(Isotomidae)、长角跳虫科(Entomobryidae)和圆跳虫科(Sminthuridae)个体密度和类群数,其中围栏封育样地拥有更高的长角跳虫科和圆跳虫科个体密度,其分别是过度放牧样地相应跳虫科的 5.14 倍和 2.38 倍;而种植苜蓿样地等节跳虫科个体密度最大,其大小是过度放牧样地等节跳虫科的 3.33 倍。

关键词:土壤跳虫;群落特征;草地退化;植被恢复;围栏封育;种植苜蓿;松嫩草原

中图分类号:Q968 **文献标识码**:A **文章编号**:0454-6296(2008)05-0509-07

Comparisons among soil collembola community characteristics in relation to different vegetation restoration treatments in the moderate degraded grasslands in the Songnen Plain of Northeast China

WU Dong-Hui[1,2,*], YIN Wen-Ying[2], YIN Xiu-Qin[3] (1. College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, China; 2. Institute of Plant Physiology and Ecology, Shanghai Institutes for Biological Sciences, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032, China; 3. College of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

Abstract: This study aimed to analyze the differences of soil collembola community characteristics under different vegetation reclamation treatments in the moderate degraded grasslands in the Songnen Plain of Northeast China. Based on the data of soil collembola collected in the Songnen grasslands of different treatments from May to October in 2005, the community parameters such as group number, individual density, and diversity index were calculated. The results showed that a total of 1 156 soil collembola individuals were captured, which fell into 9 families and 19 genera. In contrast to over grazing, both fencing enclosure and planting alfalfa could improve soil properties and substantially increase group number, individual density, and diversity of soil collembola in the moderate degraded grasslands. This suggests that fencing enclosure and planting alfalfa were helpful to restore the soil environment and ameliorate collembola community. However, the individual density of collembolans in planting alfalfa treatment was significantly higher than that of fence enclosure treatment. Further information came from the comparison of collembola taxa that Isotomidae,

基金项目:国家自然科学基金项目(40601047);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-356);吉林大学创新基金项目(4CX105);中国博士后科学基金项目(20060390643)

作者简介:吴东辉,男,1971 年生,黑龙江望奎人,博士后,主要从事土壤动物生态学研究,E-mail:wudhyang@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail:wudhyang@yahoo.com.cn

收稿日期 Received:2007-09-15;接受日期 Accepted:2008-02-25

Entomobryidae and Sminthuridae were significantly restored after reclamation. Comparing collembola taxa in fencing enclosure *vs*. planting alfalfa treatments, we found that fencing enclosure maybe more favorably restored Entomobryidae and Sminthuridae, and planting alfalfa perhaps more successfully reclaimed Isotomidae. At sites of the fencing enclosure treatment, the individual density of Entomobryidae reached a level of 5.14 times that of over grazing treatment, and the individual density of Sminthuridae reached 2.38 times that of over grazing treatment. At sites of the planting alfalfa treatment, the individual density of Isotomidae reached 3.33 times of over grazing treatment.

Key words: Soil collembola; community characteristics; degraded grasslands; vegetation reclamation; fencing enclosure; planting alfalfa; Songnen grasslands

松嫩草原位于欧亚草原带的最东端,主要分布于我国吉林省西部、黑龙江省西部和内蒙古兴安盟。该草原区原为土壤肥沃、生物生产力较高的重要牧业生产基地,长期以来,由于超载过牧和开荒等人为活动影响,草原大面积退化,已成为我国典型的生态脆弱带(刘兴土,2001)。有关该草原退化草地生态系统恢复与重建的研究一直受到广泛关注,许多学者在植被恢复和土壤理化性质改良等方面做了大量卓有成效的工作(宋长春等,2003;祝廷成,2004),但与土壤动物相关的研究十分有限(吴东辉等,2004),这主要源于人们对土壤动物本身以及其在退化生态系统恢复与重建过程中所起作用的认识仍然十分模糊。

土壤是陆地生态系统中生物种类最丰富,数量最多的亚系统(傅声雷,2007)。土壤动物作为土壤生物群落的重要组分之一,几乎参加了所有的土壤生态过程。土壤跳虫是分布极广的一类小型至微型节肢动物,其种类和数量都很丰富,与线虫、螨类共同构成三大土壤动物类群(Rusek,1998;陈建秀,2007)。已有的研究表明,跳虫是落叶分解过程中最重要的土壤动物之一,在土壤生态系统食物链中扮演重要角色,其也能敏感指示土壤环境的变化(柯欣等,2001;Ponge *et al*.,2003;吴东辉等,2005)。对包括跳虫在内的土壤动物进行研究不仅有助于揭示土壤生态系统的结构,还可以提供有关土壤生态环境的独特信息,也可能会让我们能够更好地理解地上生态系统的变化(Wardle *et al*.,2004)。

本文以松嫩草原退化草地植被恢复长期定位试验为基础,着重研究中度退化草地不同植被恢复方式样地土壤跳虫群落组成、分布与多样性等差异,主要目的是了解植被恢复方式对中度退化草地跳虫群落特征的影响,探讨土壤跳虫对不同植被恢复方式的响应特点,旨在为保护松嫩草原土壤跳虫多样性和合理利用土壤动物资源,提高中度退化草地生态系统恢复与重建质量,促进土壤生态系统健康发展提供科学依据。

1 研究方法

1.1 样地选择与设置

试验区位于松嫩草原中南部张江窝棚草场(东经 123°16′,北纬 44°23′),行政隶属于吉林省长岭县。该草场气候属温带大陆性季风气候,四季分明,年平均气温 5.2℃左右,年平均降水量 430 mm 左右,且多集中于夏季。地貌属低平原,土壤为碱性较强的碱化草甸土。植被类型为以羊草 *Leymus chinensis* 为优势种的草甸草原,但由于长期过牧,植被退化为以虎尾草 *Chloris virgata* 为优势种的草地,植被退化等级为中度(刘兴土,2001)。

试验样地设置在试验区坡降为 1/6 000 平坦地段,采用围拦自然封育、人工种植苜蓿(紫花苜蓿 *Medicago sativa*)和过度放牧等 3 种处理,随机区组设计,每种处理 4 个重复,每个小区 15 m × 15 m。自 2001 年起,样地连续处理 5 年,每年 8 月对围拦封育样地和种植苜蓿样地进行刈割。至采样时止,样地恢复过程中植物群落面貌发生了显著变化,围栏封育样地已自然演替为羊草 + 虎尾草植物群落;种植苜蓿样地采用人工干预(整地和施肥),苜蓿长势良好;过度放牧样地则由虎尾草为优势种的植物群落进一步退化,样地有较多碱蓬出现。

1.2 样品采集与处理

2005 年 5 月初(春季)、7 月末(夏季)和 10 月初(秋季)共 3 次对研究样地进行土壤跳虫取样。冬季由于严寒,土壤中几乎无土壤动物活动,所以冬季未安排采样。各样地取样深度 20 cm,沿土壤剖面划分为 0 ~ 5 cm,5 ~ 10 cm,10 ~ 15 cm 和 15 ~ 20 cm 4 层,3 类处理样地 3 次共采集用于分离跳虫的土壤样品 144 份。Tullgren 法实验室分离提取跳虫,跳虫标本

主要依据 Christiansen(2007)和尹文英(1998)鉴定，一般鉴定到属，同时统计个体数量。土壤化学性质主要依据鲁如坤(1999)测定：有机质，重铬酸钾氧化法；全氮，凯氏法；阳离子交换量，乙酸钠-火焰光度法；交换性钠，乙酸铵-氢氧化铵交换-火焰光度法；pH 值，电位法。土壤物理性质应用常规方法测定，环刀法测定土壤容重，烘干法测定土壤含水量，土壤孔隙度由容重换算。

1.3　数据分析与处理

类群数量优势度(殷秀琴等，2003)：个体数占总捕获量 10%以上者为优势类群(+ + +)；个体数占总捕获量 1% ~ 10%为常见类群(+ +)；个体数占总捕获量 1%以下为稀有类群(+)。

群落多样性分析：运用 H' 指数与 Margalef 丰富度指数和 Pielou 均匀度指数相结合说明土壤动物群落的多样性。具体公式见参考文献(钱迎倩和马克平，1994)。

数据统计处理：方差分析运用 Statistica 统计分析软件完成。

2　结果

2.1　不同植被恢复条件下土壤的理化性质

由表 1 可见，过度放牧样地土壤理化性质最差，有机质、全氮和总孔隙度均为最低，而碱化度、pH 值和容重均为最高，在剖面下层还出现了明显的碱化层。与过度放牧相比，围栏封育和种植苜蓿都能改善退化草地土壤理化环境，但围栏封育和种植苜蓿两类处理间也存在一定的不同，种植苜蓿样地土壤总孔隙度更高，有机质在土壤剖面土层间分布更为均匀，围栏封育样地碱化度和 pH 值在土壤剖面各土层则小于种植苜蓿样地。

表 1　不同处理植被样地主要土壤特征(松嫩草原，2005)

Table 1　Chief soil properties in plots of different vegetation treatments in the moderate degraded grasslands of Songnen in 2005

处理 Treatment	土壤深度(cm) Soil depth	有机质($g \cdot kg^{-1}$) Organic matter	全氮($g \cdot kg^{-1}$) Total nitrogen	容重($g \cdot cm^{-3}$) Volume weight	总孔隙度(%) Total porosity	碱化度(%) Na^+/CEC	pH 值 pH value
FE	0 ~ 5	3.59 ± 0.08	0.24 ± 0.01	1.11 ± 0.09	58.18 ± 9.54	0.38 ± 0.01	8.11 ± 0.31
	5 ~ 10	2.48 ± 0.12	0.15 ± 0.02	1.25 ± 0.07	52.93 ± 8.20	0.43 ± 0.02	8.13 ± 0.26
	10 ~ 15	2.25 ± 0.14	0.15 ± 0.02	1.34 ± 0.07	49.63 ± 8.31	0.59 ± 0.04	8.21 ± 0.27
	15 ~ 20	1.85 ± 0.09	0.12 ± 0.01	1.34 ± 0.07	49.62 ± 8.34	0.77 ± 0.05	8.45 ± 0.21
PA	0 ~ 5	3.08 ± 0.07	0.19 ± 0.01	0.95 ± 0.04	64.31 ± 5.21	0.61 ± 0.05	8.15 ± 0.37
	5 ~ 10	2.29 ± 0.11	0.16 ± 0.02	1.06 ± 0.04	60.08 ± 5.11	0.91 ± 0.14	8.18 ± 0.16
	10 ~ 15	2.20 ± 0.06	0.14 ± 0.01	1.07 ± 0.05	59.58 ± 6.65	0.96 ± 0.21	8.19 ± 0.19
	15 ~ 20	2.13 ± 0.07	0.13 ± 0.01	1.22 ± 0.02	54.11 ± 3.11	1.25 ± 0.11	8.26 ± 0.11
OG	0 ~ 5	1.54 ± 0.15	0.09 ± 0.03	1.31 ± 0.11	50.56 ± 12.10	8.70 ± 1.43	9.17 ± 0.33
	5 ~ 10	1.28 ± 0.11	0.07 ± 0.02	1.40 ± 0.09	47.05 ± 9.23	16.38 ± 1.22	10.08 ± 0.35
	10 ~ 15	1.19 ± 0.08	0.06 ± 0.01	1.45 ± 0.08	45.47 ± 9.11	29.13 ± 2.41	10.27 ± 0.41
	15 ~ 20	1.09 ± 0.11	0.06 ± 0.02	1.45 ± 0.09	45.23 ± 9.45	32.09 ± 2.03	10.32 ± 0.38

FE：围栏封育 Fencing enclosure；PA：种植苜蓿 Planting alfalfa；OG：过度放牧 Over grazing. 下同 The same below.

2.2　土壤跳虫群落组成

本研究共捕获跳虫 1 156 只，隶属于 9 科 19 属(表 2)。围栏封育样地共捕获跳虫 16 属 390 只，优势类群为符跳虫属 *Folsomia* 等 4 个属，占围栏封育样地总捕获个体数 62.56%；常见类群包括 *Subisotoma* 等 8 属，共占围栏封育样地总捕获个体数 36.15%；稀有类群 4 属，共占围栏封育样地总捕获个体数 1.29%。

种植苜蓿样地共捕获跳虫 17 属 452 只，优势类群为原等跳虫属 *Proisotoma* 等 5 个属，占种植苜蓿样地总捕获个体数 73.23%；常见类群包括 *Protaphorura* 等 8 属，共占种植苜蓿样地总捕获个体数 24.34%；稀有类群 4 属，共占种植苜蓿样地总捕获个体数 2.43%。

过度放牧样地共捕获跳虫 15 属 314 只，优势类群为奇跳虫属 *Xenylla* 等 2 属，占过度放牧样地总捕获个体数 64.01%；常见类群包括短吻跳虫属 *Brachystomella* 等 9 属，共占过度放牧样地总捕获个体数 34.40%；稀有类群 4 属，共占过度放牧样地总捕获个体数 1.59%。

2.3　不同植被恢复条件下土壤跳虫群落的垂直分布特征

图 1 和图 2 表明，与土壤跳虫类群数表聚程度相比，土壤跳虫个体密度表聚程度更为明显。各样地跳虫个体密度主要集中于 0 ~ 5 cm 土壤层，样地间比较，围栏封育比例最高，达到 67.18%，过度放

牧和种植苜蓿相对较差，其中过度放牧为 55.9%，种植苜蓿为 49.56%；季节间比较，各样地跳虫个体密度自土壤表层向底层递减幅度夏季最显著。

表 2 中度退化草地土壤跳虫群落组成（松嫩草原，2005）

Table 2 Composition of soil collembola community in the moderate degraded grasslands of Songnen in 2005

跳虫类群 Collembola taxa	FE		PA		OG	
	个体数 Individuals	优势度 Dominance	个体数 Individuals	优势度 Dominance	个体数 Individuals	优势度 Dominance
球角跳虫科 Hypogastruridae						
奇跳虫属 *Xenylla*	62	+ + +	63	+ + +	127	+ + +
泡角跳虫属 *Ceratophysella*	55	+ + +	47	+ + +	74	+ + +
等节跳虫科 Isotomidae						
原等跳虫属 *Proisotoma*	52	+ + +	104	+ + +	23	+ +
符跳虫属 *Folsomia*	75	+ + +	52	+ + +	4	+ +
Subisotoma	9	+ +	30	+ +	20	+ +
类符跳虫属 *Folsomina*	1	+	7	+ +	11	+ +
疣跳虫科 Neanuridae						
未定名属 1 Unnamed genus 1	7	+ +	6	+ +	2	+
未定名属 2 Unnamed genus 2	2	+	6	+ +		
短吻跳虫科 Brachystomellidae						
短吻跳虫属 *Brachystomella*	5	+ +	65	+ + +	12	+ +
棘跳虫科 Onychiuridae						
Protaphorura	21	+ +	17	+ +	4	+ +
长角跳虫科 Entomobryidae						
裸长角跳虫属 *Sinella*	34	+ +	7	+ +	6	+ +
长跳虫属 *Entomobrya*	1	+	5	+ +	1	+
鳞长跳虫属 *Lepidocyrtus*	1	+	4	+		
鳞跳虫科 Tomoceridae						
鳞跳虫属 *Tomocerus*			2	+		
长角长跳虫科 Orchesellidae						
长角长跳虫属 *Orchesellides*					1	+
圆跳虫科 Sminthuridae						
铲圆跳虫属 *Papirinus*	31	+ +	32	+ +	10	+ +
钩圆跳虫属 *Bourletiella*	30	+ +	4	+	18	+ +
异圆跳虫属 *Heterosminthurus*	4	+ +				
圆跳虫属 *Sminthurinus*			1	+	1	+
合计 Total	390		452		314	

上述鉴定跳虫标本保存在吉林大学 All collembola samples identified are preserved in Jilin University.

2.4 植被恢复方式和季节变化对土壤跳虫群落多样性的影响

由表 3 可见，植被恢复方式对土壤跳虫个体密度具有显著的影响（$P < 0.05$），其中种植苜蓿样地跳虫个体密度明显高于过度放牧样地（表 4），而围栏封育样地跳虫个体密度尽管也高于过度放牧样地，但二者相差未达到显著水平。与围栏封育相比，种植苜蓿能显著提高土壤跳虫的个体密度。植被恢复方式对土壤跳虫类群数影响不大（$P > 0.05$）。与植被恢复方式相比，季节变化对土壤跳虫个体密度和类群数都具有显著影响，其中对个体密度影响的显著性更强（$P < 0.001$）。土壤跳虫个体密度夏季最高，春季次之，秋季最低；类群数夏季最高，秋季次之，春季最低；跳虫个体密度类群数和个体密度均是夏季最高，与春秋相比，松嫩草原夏季气候条件更适合跳虫生活。

表 3 方差分析结果显示，样地间 3 个指数差异都很显著，与其他两个指数相比，H' 指数样地间差异显著性最大（$P < 0.01$），种植苜蓿和围栏封育样地 H' 指数均明显高于过度放牧样地（表 4），与过度放牧相比，种植苜蓿和围栏封育都能明显改善土壤跳虫群落环境。各季节间土壤跳虫群落多样性比较，3 个指数均为秋季最高，春季最低，但方差分析显示，只有 SR 指数季节间差异均较明显（$P < 0.05$）。同类样地不同季节和相同季节不同样地间比较，土壤跳虫多样性 H' 指数、J 指数和 SR 指数均

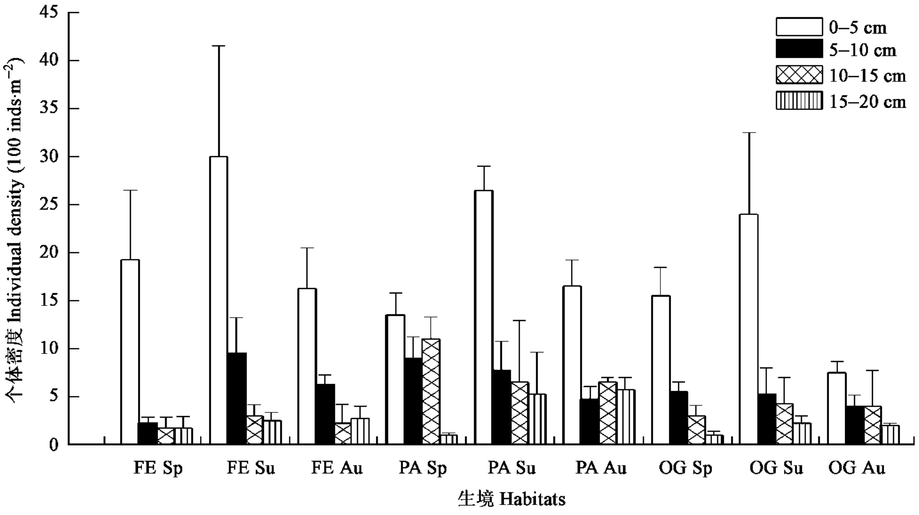

图 1 不同植被恢复方式下土壤跳虫个体密度(平均值 ± *SE*)在土壤中的垂直分布和季节变化(松嫩草原,2005)

Fig. 1 Vertical distribution and seasonal change of individual density (mean ± *SE*) of soil collembolas under different vegetation reclamation treatments (Songnen grasslands, 2005)

Sp:春季 Spring; Su:夏季 Summer; Au:秋季 Autumn. 下同 The same below.

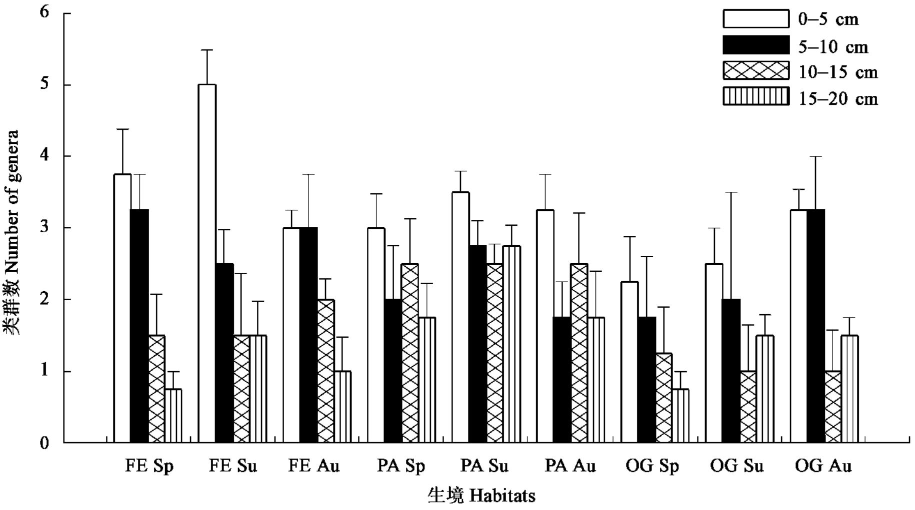

图 2 不同植被恢复方式下土壤跳虫类群数(平均值 ± *SE*)在土壤中的垂直分布和季节变化(松嫩草原,2005)

Fig. 2 Vertical distribution and seasonal change of the number of genera (mean ± *SE*) of soil collembolas under different vegetation reclamation treatments (Songnen grasslands, 2005)

表 3 植被恢复条件和季节变化对土壤跳虫群落结构的影响

Table 3 Effect of different vegetation reclamation treatments and seasons on the structure of soil collembola community

项目 Items	*DF*	类群属数 Genus number		个体密度 Density		多样性(H') Diversity		均匀度(J) Evenness		丰富度(SR) Richness	
		F	*P*	*F*	*P*	*F*	*P*	*F*	*P*	*F*	*P*
生境 Habitats	2	3.341	> 0.05	4.297	< 0.05	6.157	< 0.01	3.387	< 0.05	4.520	< 0.05
季节 Seasons	2	4.296	< 0.05	11.271	< 0.001	2.114	> 0.05	0.312	> 0.05	3.452	< 0.05
交互作用 Interaction	4	4.977	< 0.01	0.684	> 0.05	2.602	> 0.05	1.154	> 0.05	3.490	< 0.05

有显著不同。植被恢复方式与季节变化两种因子间相比,植被恢复方式对土壤跳虫群落多样性的影响显著于季节变化作用,样地间群落多样性差异主要来源于植被恢复方式,而种植苜蓿和围栏封育两种植被恢复方式间差别不明显。

表 4 不同植被恢复与重建条件下土壤跳虫群落结构

Table 4 Structure of soil collembola community under different vegetation reclamation treatments

因子 Factors		类群属数 Genus number	个体密度 Density	多样性(H') Diversity	均匀度(J) Evenness	丰富度(SR) Richness
FE		5.083 ± 0.484 a	32.500 ± 3.507 ab	0.554 ± 0.039 a	0.812 ± 0.030 ab	2.997 ± 0.254 a
PA		4.917 ± 0.358 a	37.667 ± 3.881 a	0.579 ± 0.028 a	0.859 ± 0.022 a	2.637 ± 0.241 ab
OG		4.000 ± 0.389 a	26.167 ± 3.055 b	0.397 ± 0.061 b	0.665 ± 0.087 b	2.064 ± 0.301 b
Sp		3.917 ± 0.417 b	28.250 ± 3.117 b	0.446 ± 0.055 a	0.760 ± 0.077 a	2.112 ± 0.321 b
Su		5.167 ± 0.490 a	42.750 ± 2.686 a	0.526 ± 0.056 a	0.762 ± 0.065 a	2.672 ± 0.328 ab
Au		4.917 ± 0.288 a	25.333 ± 3.158 b	0.558 ± 0.031 a	0.814 ± 0.022 a	2.914 ± 0.110 a
FE	Sp	4.750 ± 0.854 abcd	25.000 ± 0.408 bc	0.550 ± 0.073 a	0.839 ± 0.046 a	2.704 ± 0.662 ab
	Su	6.500 ± 0.645 a	45.500 ± 4.444 a	0.618 ± 0.035 a	0.773 ± 0.060 ab	3.656 ± 0.174 a
	Au	4.000 ± 0.577 bcd	27.000 ± 5.492 bc	0.494 ± 0.086 ab	0.822 ± 0.056 ab	2.632 ± 0.153 ab
PA	Sp	3.500 ± 0.289 cd	34.500 ± 9.078 ab	0.491 ± 0.014 ab	0.916 ± 0.035 a	1.788 ± 0.207 bc
	Su	5.750 ± 0.479 ab	45.000 ± 6.124 a	0.644 ± 0.060 a	0.848 ± 0.040 a	2.976 ± 0.463 ab
	Au	5.500 ± 0.289 ab	33.500 ± 4.300 ab	0.601 ± 0.026 a	0.814 ± 0.022 ab	3.147 ± 0.134 a
OG	Sp	3.500 ± 0.866 d	25.250 ± 2.175 bc	0.297 ± 0.127 c	0.524 ± 0.182 b	1.845 ± 0.690 bc
	Su	3.250 ± 0.250 d	37.750 ± 3.092 ab	0.317 ± 0.089 c	0.664 ± 0.187 ab	1.384 ± 0.183 c
	Au	5.250 ± 0.250 abc	15.500 ± 2.327 c	0.577 ± 0.014 a	0.806 ± 0.039 ab	2.963 ± 0.216 ab

小写字母表示差异显著性，相同字母差异不显著，不同字母差异显著($P < 0.05$，邓肯法)。Small letters denote statistical significance, same letters indicate no significant difference, while different letters indicate significant differences ($P < 0.05$ by Duncan method).

4 讨论

松嫩平原的羊草草地大部分用作放牧场，草地的主要变化都与放牧有关，过度放牧是造成目前松嫩草原草地退化的主要原因之一。过度放牧使优质牧草种类和数量减少，盖度降低，杂类草、一年生植物和有毒植物侵入并增多，同时也使土壤理化性质恶化(祝廷成，2004)。表 1 结果表明，过度放牧样地土壤理化性质最差，其剖面下层甚至还出现了明显的碱化层。土壤动物终生或一生的大部分时间生活在土壤中，其活动与土壤环境关系密切(尹文英，1992)。土壤环境的改变可能引起土壤动物的变化，依据表 3 结果，过度放牧样地土壤环境劣化确实使草地土壤跳虫群落多样性受到了明显影响，跳虫群落结构几个指数，除类群数未有明显降低外，其余指数均显著变差。

过度放牧对土壤跳虫群落组成也产生了一定影响。表 2 结果显示，经过长时间的过度放牧，样地真土生的 *Xenylla* 等类群的个体数量明显上升，而裸长角跳虫属等凋落物中生存以及原等跳虫属等半土生的类群个体数量有不同程度的下降，有些类群甚至从群落中消失。据调查，在过度放牧草地，家畜对草地的过度采食和践踏，牧草的踏伤率超过采食率的 4 倍以上，蹄凹迹超过地表的 70% 以上，畜蹄践踏可直接破坏草地的表土层(郑慧莹和李建东，1993)。牧草地表土层的破坏应该是裸长角跳虫属和原等跳虫属等类群个体减少甚至消失的主要原因，但奇跳虫属等类群的个体数量明显上升的原因还不清楚，为什么在土壤理化性质较差且受干扰较大的过度放牧样地球角跳虫科个体密度不降反升，还需要进一步的工作。

针对草地退化，有多种恢复措施可供选择，围栏封育和种植苜蓿等优良牧草是松嫩草原中度退化草地恢复与重建措施中最主要和常见方式(刘兴土，2001)。本研究结果表明，与过度放牧相比，围栏封育和种植苜蓿都能改善土壤环境，且拥有较高的跳虫类群数、个体密度和群落多样性，无论选择围栏封育还是种植苜蓿都能达到恢复与重建中度退化草地土壤跳虫群落的目的。尽管如此，围栏封育和种植苜蓿依然存在一定的区别，主要表现在跳虫个体密度和群落组成两个方面，与羊草相比，苜蓿是多年生豆科牧草，拥有强大的根系，能吸收土壤深层水分、养分和固定土壤中游离态氮，土壤中营养物质更为丰富，适合真菌和细菌生活，这些微生物都是跳虫的良好食物，对于提高半土生和真土生跳虫个体密度可能是有帮助的；与苜蓿相比，羊草群落拥有更多地上植物多样性，地表凋落物种类和数量也更多，这就为表生的长角跳虫科和圆跳虫科提供更多样的生存空间。

特定环境下的土壤微节肢动物群落结构通常是一定的，是对该生态环境长期适应的结果，当环境发生变化时，群落结构一般也发生相应改变。多样性指数是量化的特征指标，对于一特定的环境来说通

常是常量，其值可综合地代表和反映这一环境的质量状况，可用来评价土壤质量（柯欣等，2004）。跳虫、螨类和线虫是评价土壤质量最有潜在价值的三大类群，因为它们在各类土壤环境中都存在，种类丰富，个体密度大，多样性高（Urzelai *et al.*，2000；Ponge *et al.*，2003；Ruf，2003；Schloter *et al.*，2003；Parisi *et al.*，2005；**李玉娟等，2005）。本文通过研究土壤跳虫群落组成与结构，反映围栏封育和种植苜蓿等草地植被恢复生境与过度放牧导致草地中度退化生境的跳虫群落特征存在显著差异，并能区分围栏封育和种植苜蓿之间的不同。在松嫩草原中度退化草地生态恢复与重建过程中，充分研究土壤跳虫生态变化，在保护和提高跳虫多样性同时，也可以为科学评价土壤质量提供新指标。**

参 考 文 献（References）

Christiansen K，2007. Checklist of the Collembola of the World. Http：//www.collembola.org.

Chen JX，Ma ZC，Yan HJ，Zhang F，2007. Roles on springtails in soil ecosystem. *Biodiversity Science*，15（2）：154－161.［陈建秀，麻智春，严海娟，张峰，2007. 跳虫在土壤生态系统中的作用. 生物多样性，15（2）：154－161］

Fu SL，2007. A review and perspective on soil biodiversity research. *Biodiversity Science*，15（2）：109－115.［傅声雷，2007. 土壤生物多样性的研究概况与发展趋势. 生物多样性，15（2）：109－115］

Ke X，Zhao LJ，Yin WY，2001. Succession of collembolan communities during decomposition of leaf litter under the three species of arbores. *Acta Entomologica Sinica*，44（2）：221－261［柯欣，赵立军，尹文英，2001. 三种乔木落叶分解过程中跳虫群落结构的演替. 昆虫学报，44（2）：221－226］

Ke X，Liang WY，Yu WT，Xie RD，Weng CL，Yang YM，Yin WY，2004. Community structure and seasonal change of soil micro-arthropodes in the Lower Reaches of Liaohe River Plain under different land utilization. *Chinese Journal of Applied Ecology*，15（4）：600－604.［柯欣，梁文举，宇万太，谢荣栋，翁朝联，杨毅明，尹文英，2004. 下辽河平原不同土地利用方式下土壤微节肢动物群落结构研究. 应用生态学报，15（4）：600－604］

Li YJ，Wu JH，Chen HL，2005. Nematodes as bioindicator of soil health：methods and applications. *Chinese Journal of Applied Ecology*，16（8）：1 541－1 546.［李玉娟，吴纪华，陈惠丽，2005. 线虫作为土壤健康指示生物的方法及应用. 应用生态学报，16（8）：1 541－1 546］

Liu XT，2001. Management on Degraded Land and Agricultural Development in Songnen Plain. Science Press，Beijing. 62－192.［刘兴土，2001. 松嫩平原退化土地整治与农业发展. 北京：科学出版社. 62－192］

Lu RK，1999. Soil and Agricultural Chemistry Analysis. China Agricultural Science and Technology Press，Beijing. 1－163.［鲁如坤，1999. 土壤农业化学分析方法. 北京：中国农业科技出版社. 1－163］

Parisi V，Menta C，Gardi C，Jacomini C，Mozzanica E，2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity：a new approach in Italy. *Agriculture，Ecosystems and Environment*，105：323－333.

Ponge JF，Gillet S，Dubs F，2003. Collembolan communities as bioindicators of land use intensification. *Soil Biology & Biochemistry*，35：813－826.

Qian YQ，Ma KP，1994. Principles and Methodologies of Biodiversity Studies. China Science & Technology Press，Beijing. 141－165.［钱迎倩，马克平. 生物多样性研究的原理和方法. 北京：中国科学技术出版社. 141－165］

Ruf A，1998. A maturity index for predatory soil mites（Mesostigmata：Gamasina）as an indicator of environmental impacts of pollution on forest soils. *Applied Soil Ecology*，9：447－452.

Rusek J，1998. Biodiversity of collembolan and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*，7：1 207－1 279.

Schloter M，Dilly O，Munch JC，2003. Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture，Ecosystems and Environment*，98：255－262.

Song CC，He Y，Deng W，2003. Ecological Geochemistry of Salinization Soil in Songnen Plain. Science Press，Beijing. 1－206.［宋长春，何岩，邓伟，2003. 松嫩平原盐渍土壤生态地球化学. 北京：科学出版社. 1－206］

Urzelai A，Hernandez AJ，Pastor J，2000. Biotic indices based on soil nematode communities for assessing soil quality in terrestrial ecosystems. *The Science of the Total Environment*，247：253－261.

Wardle DA，Bardgett RD，Klironomos JN，Setälä H，van der Putten WH，Wall DH，2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*，304：1 629－1 633.

Wu DH，Hu K，Yin XQ，2004. Ecological characteristics of soil macro-animal community in Mid-South Songnen degraded *Leymus chinensis* grassland under restoration succession. *Acta Prataculturae Sinica*，13（5）：121－126.［吴东辉，胡克，殷秀琴，2004. 松嫩草原中南部退化羊草草地生态恢复与重建中大型土壤动物群落生态特征. 草业学报，13（5）：121－126］

Wu DH，Zhang B，Chen J，2005. Community structure of soil collembolas in the mid and west plains of Jilin Province. *Acta Entomologica Sinica*，48（6）：935－942.［吴东辉，张柏，陈鹏，2005. 吉林中、西部平原区土壤弹尾虫群落结构的比较. 昆虫学报，48（6）：935－942］

Yin WY，1992. Subtropical Soil Animals of China. Science Press，Beijing. 1－95.［尹文英，1992. 中国亚热带土壤动物. 北京：科学出版社. 1－95］

Yin WY，1998. Pictorical Keys to Soil Animals of China. Science Press，Beijing. 163－243，527－562.［尹文英，1998. 中国土壤动物检索图鉴. 北京：科学出版社. 51－89，437－475］

Yin XQ，Wang HX，Zhou DW，2003. Characteristics soil animals communities in different agricultural ecosystem in the Songnen Grassland of China. *Acta Ecological Sinica*，23（6）：1 071－1 078.［殷秀琴，王海霞，周道玮，2003. 松嫩草原区不同农业生态系统土壤动物群落特征. 生态学报，23（6）：1 071－1 078］

Zheng HY，Li JD，1993. The Grassland Vegetation and Its Utilization and Conservation on The Songnen Plains. Science Press，Beijing. 1－188.［郑慧莹，李建东，1993. 松嫩平原的草地植被及其利用保护. 北京：科学出版社. 1－188］

Zhu TC，2004. Yang-Cao Biological Ecology. Jilin Science and Technology Press，Changchun. 523－609.［祝廷成，2004. 羊草生物生态学. 长春：吉林科学技术出版社. 523－609］

（责任编辑：袁德成）